

ГАУ АО ДО «ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ
ЦЕНТР»
БЭНОУ «НАТУРАЛИСТ»
ФГБОУ ВО «АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Т/О «ПРИКЛАДНАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ»

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

на тему:

**«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В БИОИНДИКАЦИИ
ПОЧВ Г. АСТРАХАНИ (НА ПРИМЕРЕ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ
БАКТЕРИЙ)»**

Выполнила: ученица 11 класса
т/о «Прикладная микробиология»
ФГБОУ ВО АГТУ,
БЭНОУ «НАТУРАЛИСТ»
ГАУ АО ДО «Эколого-биологический центр»
Краснова Виктория

Научные руководители:
Пархоменко Анна Николаевна,
к.б.н., доцент кафедры
«Прикладная биология и микробиология»,
ФГБОУ ВО АГТУ,
педагог доп. образования
ГАУ АО ДО «ЭКОЛОГО-
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»;
Зорина Жанна Борисовна,
учитель химии МБОУ «СОШ № 36»

Астрахань, 2026

Содержание

Введение	3
I. Теоретическая часть	5
1.1 Выхлопные газы	5
1.2. Выхлопные газы как источник загрязнения почв	5
1.3. Состав выхлопных газов	6
1.4. Влияние выхлопных газов	7
1.5. Микроорганизмы как биоиндикаторы	8
1.6. Азотфиксирующие микроорганизмы как биоиндикаторы	9
II. Практическая часть (результаты собственных исследований)	13
2.1. Объекты исследования	10
2.2. Методы исследования	11
2.3. Результаты собственных исследований	13
Выводы	17
Список литературы	18

Введение

С тех пор как на земле появился человек, природа и ее состояние очень сильно зависят от его деятельности. В последнее время очень много говорят об экологическом кризисе. Одной из причин экологического кризиса являются выхлопные газы от неумолимо растущего количества автомобилей. В настоящее время владельцы автомобилей совсем забыли об окружающей среде. И даже не задумываются, что выхлопные трубы их машин выпускают в воздух много вредных веществ.

В наши дни проблемы экологии приобретают повышенную актуальность. Выхлопные газы — один из наиболее вредных факторов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Вопросы загрязнения воздуха и почвы актуальны и в крупных, и в небольших городах. Выхлопные газы оказывают существенное воздействие на окружающую среду и негативно влияют на почвы и здоровье человека. При этом, количество автомобильного транспорта неуклонно увеличивается и становится одним из основных источников загрязнения воздуха и почвы. Почвы считают своеобразными природными фильтрами, а загрязнение почв - одной из основных экологических угроз в мире.

Биодиагностика почвы позволяет оценить состояние почвы с точки зрения ее биологической активности. Это важно для принятия обоснованных решений по охране окружающей среды. Ведь результаты биодиагностики необходимы для разработки эффективных мер по рекультивации и восстановлению загрязненных почв.

Для оценки и контроля загрязнения почв наряду с химико-аналитическими методами широко применяются методы биотестирования с использованием различных тест-объектов (Галицкая, 2009). Также используют контактные микробные тесты, которые позволяют оценить влияние почвы на тестовый организм, либо на тестовую функцию. Например, в качестве перспективного агента для проведения биомониторинга экологического состояния загрязненных почв можно использовать азотфиксирующие микроорганизмы (Мамонтов, 2017). Так, имеются сведения (Пархоменко, 2022) о чувствительности азотобактера к определенным факторам внешней среды, что позволяет использовать его для индикации экологического состояния городских почв.

В итоге, биодиагностика экологического состояния почв города Астрахань является актуальной задачей, необходимой для оценки экологической ситуации, разработки мер по охране окружающей среды и обеспечения здоровья населения.

Цель: изучение особенностей развития азотфиксирующих микроорганизмов в почвах, испытывающих антропогенное воздействие с целью их использования в качестве биоиндикатора.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть состав выхлопных газов и понять, как выхлопные газы влияют на различные экосистемы.
2. Выделить и изучить особенности развития азотфиксирующих микроорганизмов в городских почвах.

I. Теоретическая часть

1.1. Выхлопные газы

Выхлопные (отработанные) газы (ОГ) – основной источник токсичных веществ двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Это неоднородная смесь различных газообразных веществ с разнообразными химическими и физическими свойствами, состоящая из продуктов полного и неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, аэрозолей и различных микропримесей (как газообразных, так и в виде жидких и твердых частиц), поступающих из цилиндров двигателей в его выпускную систему. В своем составе они содержат около 300 веществ, большинство из которых токсичны.

1.2. Выхлопные газы как источник загрязнения почв

Выхлопные газы являются значительным источником загрязнения почвы, хотя и не таким прямым, как, например, проливы нефтепродуктов. Загрязнение происходит несколькими путями.

Сухая депонция. Твердые частицы и некоторые газообразные компоненты выхлопных газов (например, тяжелые металлы, как свинец, кадмий, никель; полициклические ароматические углеводороды - ПАУ) оседают на поверхность почвы непосредственно из атмосферы. Это особенно актуально вблизи автомагистралей и крупных городов с интенсивным движением.

Влажная депонция. Газообразные компоненты выхлопных газов (например, оксиды азота, диоксид серы) растворяются в атмосферной влаге и выпадают на почву в виде кислотных дождей. Кислотные дожди изменяют pH почвы, что негативно влияет на ее структуру, микрофлору и доступность питательных веществ для растений. Они также могут способствовать вымыванию тяжелых металлов из почвы в подземные воды.

Поступление через растения. Растения поглощают некоторые загрязняющие вещества из атмосферы, а затем эти вещества накапливаются в почве после отмирания растений.

Последствия загрязнения почвы выхлопными газами.
Деграция почвы: Изменение структуры почвы, снижение плодородия, уменьшение содержания органического вещества.

Загрязнение грунтовых вод: Вымывание загрязняющих веществ в подземные воды, что угрожает качеству питьевой воды.

Накопление токсичных веществ в растениях: Загрязненные растения могут накапливать токсичные вещества, что опасно для животных и людей, которые их употребляют в пищу.

Ухудшение здоровья человека: Контакт с загрязненной почвой может привести к различным заболеваниям, особенно у детей.

Урон биоразнообразию: Загрязнение почвы негативно влияет на микроорганизмы, почвенную фауну и флору.

1.3. Состав выхлопных газов

Азот (71 %): При н.у. азот представляет собой весьма инертный газ. При высоких давлениях и температурах азот активно вступает в реакцию с кислородом. В выхлопных газах двигателей более 90 % всего количества NOx составляет оксид азота NO, который ещё в системы выпуска, а затем и в атмосфере легко окисляется в диоксид (NO₂).

Угарный газ (11 %): В камере сгорания двигателя CO образуется при неудовлетворительном распылении топлива, в результате диссоциации диоксида углерода при высоких температурах. При последующем сгорании после воспламенения возможно горение оксида углерода при наличии кислорода с образованием диоксида.

Углеводороды (7 %): Наличие СН в выхлопных газах двигателей объясняется тем, что смесь в камере сгорания является неоднородной, поэтому у стенок, в переобогащенных зонах, происходит гашение пламени и обрыв цепных реакций.

Смог (5 %): Смог ядовитый туман, образуемый в нижнем слое атмосферы, загрязненной вредными веществами от выхлопных газов от автотранспорта. Он представляет собой аэрозоль, состоящую из дыма, тумана, пыли, частичек сажи, капелек жидкости (во влажной атмосфере).

Другие соединения (4 %): Содержание многих химических веществ в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания меняется в зависимости от типа двигателя, бензиновый или дизельный, однако основной набор остается прежним

Свинец (2 %): Свинец мягкий металл, который имеет 1 группу опасности. Отравление его соединениями занимает первое место по частоте среди всех соединений металлов. В бензине этот металл известен под названием тетраэтилсвинец. По сути это тот же металл, только растворенный в жидкости (металлоорганическое соединение). Этилированный бензин, пожалуй, самое большое зло человечества, его соединения находили буквально повсюду, в том числе и в костях, мозгу, нервных волокнах и т.д. организмов (рис. 1).

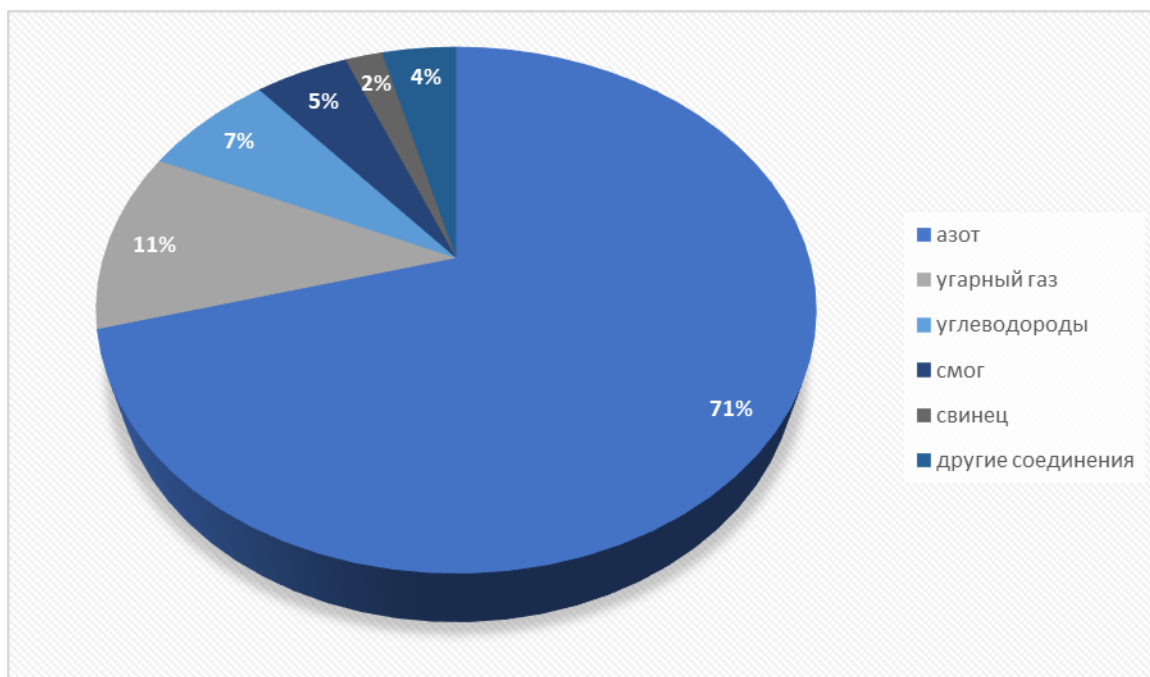


Рис. 1. Содержание многих химических веществ в выхлопных газах

1.4. Влияние выхлопных газов

Загрязнение почвы

Оксиды азота: Могут изменить состав почвы, делая ее более кислой, что влияет на рост растений.

Свинец: Накапливается в почве, где он может быть поглощен растениями или высвобожден в грунтовые воды.

Полиароматические углеводороды (ПАУ): Канцерогены, которые могут накапливаться в почве и проникать в грунтовые воды.

Загрязнение воды

Выпадение кислотных дождей: NO_x и SO_x в выхлопных газах превращаются в кислоты в атмосфере, которые выпадают в виде кислотных дождей и загрязняют водные источники.

Токсичные металлы: Выхлопные газы содержат тяжелые металлы, которые могут накапливаться в водных экосистемах и представлять угрозу для водных организмов.

Загрязнение воздуха

CO_2 : способствует глобальному потеплению и изменению климата.

CO: вызывает головные боли, затрудненное дыхание и даже смерть при высоких концентрациях.

NO_x : Способствуют образованию смога, озонового слоя у поверхности земли и кислотных дождей.

1.5. Микроорганизмы как биоиндикаторы

Микроорганизмы являются ценными биоиндикаторами загрязнения почвы из-за их:

Широкого распространения: встречаются в различных почвах, что позволяет проводить мониторинг загрязнения в разных регионах.

Реакции на изменения окружающей среды: микроорганизмы быстро реагируют на изменения содержания питательных веществ, pH и токсичных веществ в почве.

Разнообразия: существует большое разнообразие микроорганизмов, каждый из которых реагирует на определенные типы загрязнителей.

Короткий жизненный цикл: микроорганизмы имеют короткие жизненные циклы, что позволяет проводить мониторинг изменений окружающей среды относительно быстро.

Типы микроорганизмов, используемых в качестве биоиндикаторов

Бактерии: например, *Escherichia coli* и *Pseudomonas spp.*, которые могут указывать на фекальное загрязнение.

Грибы: например, *Amanita spp.* и *Russulales spp.*, которые могут указывать на загрязнение тяжелыми металлами и органическими соединениями.

Простейшие: например, *Amoeba proteus* и *Paramecium spp.*, которые могут указывать на загрязнение сточными водами или избыток питательных веществ.

Принципы использования микроорганизмов как биоиндикаторов

Видовой состав: Изменение состава микробного сообщества почвы может указывать на присутствие определенных загрязнителей.

Биомасса: Увеличение или уменьшение микробной биомассы может свидетельствовать об изменениях в доступности питательных веществ или активности фермента.

Функциональная активность: Оценка активности ферментов, участвующих в разложении органических веществ, может предоставить информацию об общем качестве почвы и эффективности биологического разложения.

Стойкость к антибиотикам: Наличие микроорганизмов, устойчивых к антибиотикам, может указывать на загрязнение тяжелыми металлами или другими химическими веществами.

Применение биоиндикаторов в мониторинге загрязнения почвы
Оценка воздействия загрязняющих веществ: Микроорганизмы используются для оценки воздействия загрязнителей, таких как тяжелые металлы, органические химические вещества и пестициды, на микробные сообщества почвы.

Выявление горячих точек загрязнения: Биоиндикаторы могут помочь определить области с высокой концентрацией загрязнителей в почве.

Оценка эффективности мер по рекультивации почв: Микроорганизмы используются для мониторинга восстановления микробных сообществ после очистных мероприятий.

Разработка экологических норм: Данные о микроорганизмах используются для установления допустимых пределов загрязнения почвы.

Использование микроорганизмов в качестве биоиндикаторов загрязнения почвы является эффективным и экономичным способом оценки и управления загрязнением почвы. Понимание изменений в микробных сообществах может предоставить ценную информацию о состоянии почвы и воздействии на нее антропогенной деятельности. Кроме того, биоиндикаторы являются важными инструментами для поддержки решений в области рекультивации почв и обеспечения здоровья экосистем.

1.6. Азотфиксирующие микроорганизмы как биоиндикаторы

Азотобактер используется как биоиндикатор химического загрязнения почвы.

Азотобактер используют для оценивания состояния почвы в экологическом мониторинге.

Исходным положением при интерпретации результатов биотеста было утверждение, что чем выше заселённость почвы азотобактером, тем она плодороднее. То есть обилие этих бактерий оценивалось как положительное агрономическое свойство почвы.

Однако обилие азотобактера не может быть однозначным свидетельством благополучия почвы. Признаком ухудшения состояния среды считают отрицательную динамику численности и диаметра колоний можно использовать для индикации загрязнения городских почв (Пархоменко, 2022).

Также установлено, что культура свободноживущих бактерий *Azotobacter* чувствительна к содержанию тяжёлых металлов в почве, и изменение численности и диаметра колоний можно использовать для индикации загрязнения городских почв.

Наиболее распространённый в почвах и хорошо изученный вид азотобактера - *Azotobacter chroococcum*. Он признан индикаторным микроорганизмом на определённые почвы: богатые элементами питания и азотом, влажные и нейтральные, хорошо окультуренные.

Большое влияние на развитие азотобактера оказывает влажность почвы. При нехватке влаги он становится цистами - покоящимися клетками, покрытыми плотной оболочкой. Также азотобактер чувствителен к реакции среды: оптимальная для его развития область рН - 7,2–8,2.

II. Практическая часть (результаты собственных исследований)

2.1. Объекты исследований

Объектами исследований явились почвы, отобранные на территории города Астрахани. Пробы почвы отбирались в трех различных точках: 1 проба - 1 – железнодорожные пути; 2 – мясокомбинат, в районе моста; 3 – садовый (дачный) участок (рис. 2).



а



б



в

Рис. 2 Точки отбора проб: а - железнодорожный переезд; б –около мясокомбинатского моста; в – садовый участок (дачный поселок)

2.2. Методы исследований

Отбор почв и экспериментальные исследования проводили стандартными и общепринятыми методами (Практикум по биологии почв, 2002; Нетрусов, 2005).

Подготовка посуды и оборудования для взятия пробы почвы

Широкогорлые банки, емкостью в 500 - 600 г, закрывали предварительно ватными пробками, заворачивали в бумагу и стерилизовали сухим жаром в сушильном шкафу при 160 °С. Банки емкостью в 500 - 600 г брали для количественного определения некоторых микробиологических процессов почвы, так как при этом требуется большое количество почвы. Отбирали пробы маленькой железной лопаткой, совком в стерильные широкогорлые банки, завернутые в бумагу и простерилизованные в сухожаровом шкафу или в автоклаве. Каждый взятый образец должен весил 200 - 300 г (Галынкин, 2002).

Отбор образцов почвы

При проведении лабораторных исследований поверхностных слоев почвы образцы брали на глубине до 30 см.

Почву отбирали следующим образом:

1. Стерильным ножом счищали поверхностный слой почвы с горизонта, из которого берется образец.
2. Над пламенем горелки быстро открывали банку, обжигали края ее горлышка и другим стерильным ножом быстро насыпали исследуемый горизонт.
3. После взятия образца горлышко банки и ватные пробки хорошо обжигали над пламенем спиртовки.
4. На банку наклеивали и для лучшей сохранности привязывали веревочкой этикетку, на которой указывали название почвенного горизонта, глубину, с которой взят образец, и время взятия образца (Нетрусов, 2005).

Учет численности азотфиксирующих микроорганизмов методом обрастания комочков почвы

Отобранную почву увлажняли стерильной дистиллированной водой до пастообразного состояния и раскладывали по 10 комочков почвы на среде Эшби. Общее число посеянных комочков, которые должны обрастать колониями азотфиксирующих микроорганизмов, принимали за 100 %. Через 7 суток инкубирования посевов в термостате при 30 °С определяли количество комочков, на которых наблюдались бактериальные обрастания и высчитывали процент обросших комочков (Практикум по биологии почв, 2002).

Метод изучения культуральных признаков

Культуральные признаки микробов определяли по характеру роста их на питательной среде. Будучи постоянными для каждого вида микроба, они являются важным диагностическим признаком.

Колонии характеризовали по величине, форме, контуру края, рельефу, поверхности, цвету, структуре и консистенции.

Величину колонии определяли по ее диаметру. В зависимости от диаметра различали колонии точечные (диаметр меньше 1 мм), мелкие (диаметр – 1-2 мм), средние (диаметр 2-4 мм) и крупные (диаметр 4-6 мм и более).

Форма колонии бывает правильная – круглая, неправильная – амебовидная, ризоидная – корневидная и др.

Характер контура края определяли при рассмотрении колоний под микроскопом с малым увеличением. Различали ровные края в виде четко выраженной линии и неровные. Последние делят на:

- фестончатый край, состоящий из крупных, слегка округлых или уплощенных зубцов правильной формы;
- волнистый край, который отличается тем, что крупные зубцы выражены нечетко;
- эрозированный, или зазубренный, край, состоящий из острых зубцов различной величины и формы;
- бахромчатый край, имеющий нежные ворсинки.

В некоторых случаях четко выраженная линия, отграничивающая колонию от поверхности среды, отсутствует. Такой край колонии называют расплывчатым.

Рельеф колонии характеризовали по ее приподнятости над поверхностью питательной среды и контуром формы в вертикальном разрезе. Определяли рельеф колонии невооруженным глазом при рассматривании сверху и сбоку. Различают:

- каплеобразные или куполообразные колонии правильной круглой формы с различно выраженной степенью выпуклости, которые в вертикальном разрезе представляют собой сегмент шара и отличаются только длиной радиуса. Колонии слабовыпуклые имеют большую длину радиуса; куполообразные – меньшую;
- колонии плоско-выпуклые с плоским верхом, пологими или круто обрывающимися краями; имеют в вертикальном разрезе форму трапеции;
- колонии конусообразные, имеющие в вертикальном разрезе форму треугольника;
- колонии с приподнятой серединой и валиком по периферии;
- колонии с вдавленным центром;
- колонии плоские, стелющиеся по поверхности среды.

Поверхность колонии изучали под микроскопом при малом увеличении. Поверхность колонии бывает матовая или блестящая с глянцем, сухая или влажная, гладкая или шероховатая.

Цвет колонии определяли пигментом, который продуцирует культура микробов.

Метод изучения морфологических признаков

Для определения морфологических свойств бактериальных колоний готовили фиксированные и окрашенные препараты по способу Грама.

Окраска по способу Грама является фиксированным препаратом, и по этому тинкториальному признаку можно отнести бактерии к грамположительным, либо к грамотрицательным микроорганизмам.

Перед окраской на хорошо обезжиренное предметное стекло наносили каплю дистиллированной воды, затем в эту каплю стерильной бактериологической петлей вносили часть колонии, перемешивали и оставляли высохнуть естественным способом, после чего фиксировали, в верхнем пламени спиртовки. Далее проводили окрашивание.

Техника окраски по способу Грама: на 30 секунд наливали метилвиолет, смывали самотеком, затем на 30 секунд - раствор люголя, смывали самотеком, на 15 секунд - спирт, промывали водой, на 1 минуту - раствор фуксина, после этого промывали водой, высушивали фильтровальной бумагой и микроскопировали под иммерсионной насадкой в кедровом масле.

2.3. Результаты собственных исследований

В качестве объекта исследований были выбраны почвенные образцы, отобранные на участках с различной степенью антропогенной нагрузки, в местах оживленного движения авто- и железнодорожного транспорта, а также в почве садового хозяйства.

Из всех образцов выделены азотфиксирующие микроорганизмы. Численность азотфиксирующих микроорганизмов устанавливали путем подсчета почвенных обрастаний на среде Эшби (табл. 1).

Таблица 1

Количество обросших почвенных комочков (шт.)

Исследуемые почвы			
Всего	Железнодорожные пути	Мясокомбинат	Садовый участок
10	7	9	10

Таким образом, степень обрастания составила: 70 %, 90 % и 100 % соответственно. То есть наиболее обогащенной азотобактером почвой можно считать почву, отобранную на садовом участке. Данная почва условно принята за контрольную.

В качестве критерия оценки почвы использовали следующие показатели: степень обрастания, диаметр колоний и количество окрашенных колоний в опытных вариантах по сравнению с контролем, как рекомендуют некоторые авторы (Симакова, 2019) при использовании в качестве организма-индикатора азотобактера.

Данные представлены в таблицах 2-5.

Таблица 2

Размер комочков и колоний в почве железнодорожных путей (в мм)

№	Диаметр комочка	Диаметр обрастания
1	5	10
2	5	8
3	8	12
4	6	12
5	6	10
6	5	11
7	6	10
\bar{x}	5,9	10,4

Таблица 3

Размер комочков и колоний в почве «мясокомбината» (в мм)

№	Диаметр комочка	Диаметр обрастания
1	10	15
2	7	10
3	9	13
4	7	11
5	6	9
6	8	15
7	6	11
8	8	14
9	6	8
\bar{x}	7,4	11,8

Таблица 4

Размер комочков и колоний в почве на садовом участке (в мм)

№	Диаметр комочка	Диаметр обрастания
1	7	9
2	6	12
3	5	13
4	7	10
5	6	9
6	6	10
7	5	9
8	6	17,5
9	5	10
10	5	7
\bar{x}	5,8	11,65

Биоиндикация состояния почвы с использованием бактерий р.
Azotobacter

Точка отбора проб	Степень обрастания комочков почвы, %	Количество окрашенных колоний, %	Средний диаметр колоний, мм
1 (железнодорожные пути)	70	57,1	10,4
2 (мясокомбинат)	90	100	11,8
3 (садовый участок)	100	50,0	11,65

Количество пигментированных (окрашенных) колоний также отличалось в зависимости от места отбора проб и максимально было в почве, отобранной в районе моста мясокомбината (100 %). В почве около железнодорожных путей и в садовой почве этот показатель составлял 57,1 и 50 % соответственно.

Изучение морфологических свойств микроорганизмов показало наличие грамтрицательных, преимущественно кокковидных форм. Причем, в пробе 1 наблюдали наличие цист, а в пробе 2 капсул (рис. 3).

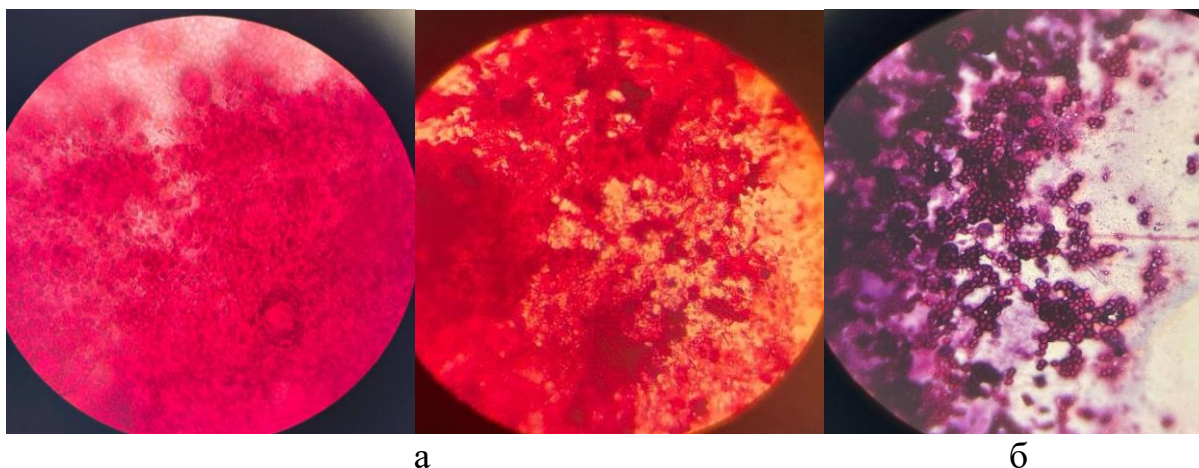


Рис. 3 Морфологические признаки выделенных микроорганизмов: а – проба железнодорожный переезд; б – около мясокомбинатского моста

На основе полученных данных подсчитали Индекс токсичности (ИТ), как отношение значения показателя к контрольной величине (Семенова, 2013): $ИТ_{сумм.} = ИТ1 + ИТ2$, где ИТ1 и ИТ2 – индексы токсичности по среднему диаметру и количеству колоний азотобактера, соответственно. Данные представлены в таблице 6.

Таблица 6

Некоторые параметры роста и развития культуры *Azotobacter* в анализируемых почвах

Точка отбора проб	Средний диаметр колоний, мм	Степень обрастания комочков почвы, %	ИТ1	ИТ2	ИТсумм.
1 (железнодорожные пути)	10,4	70	0,9	0,7	1,6
2 (мясокомбинат)	11,8	90	1,0	0,9	1,9
3 (садовый участок)	11,65	100	1,0	1,0	2,0

По значениям индекса токсичности (ИТсумм.), установили, что высокую токсичность проявляют почвы, отобранные около жд путей (1,6) и в меньшей степени – почвы, отобранные в районе мясокомбината (1,9).

Выводы

При определении токсического влияния почвенных образцов по отношению к культуре азотобактера показано, что наибольший токсический эффект проявляет образец, отобранный на участке около железнодорожных путей практически по всем показателям, таким как степень обрастания, количество колоний и их размер.

Обобщая полученные данные, составили ряд токсичности, по степени увеличения которой исследуемые почвы можно расположить следующим образом: садовый участок (точка 3) < мясокомбинат (точка 2) < железнодорожные пути (точка 1).

Список литературы

1. Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю. Биологическая оценка токсичности почв методом биотестирования // Агрехимия. - 2009. - № 3. - С. 84-88.
2. Каманина И.З., Каплина С.П., Чигоева Д.Н. Определение токсичности почв в зоне влияния горнодобывающей промышленности // Научное обозрение. Биологические науки. - 2021. - № 3. - С. 21-26.
3. Мамонтов В.Г., Панов Н.П., Игнатъев Н.Н. Общее почвоведение. - М.: Изд-во «КНОРУС», 2017. - 538 с.
4. Нетрусов А.И. Практикум по микробиологии / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук. – М.: Академия, 2005. – 608 с.
5. Симакова В.С. Сравнительная характеристика биомониторинговых возможностей бактерий и высшего растения в оценке состояния городских почв, загрязненных стоками автомойки / В.С. Симакова, А.Л. Люкина, Л.И. Домрачева // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 16–18 апреля 2019 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2019. – С. 223-227.
6. Семенова И.Н., Суюндуков Я.Т. Оценка токсичности почв города Сибай с помощью культуры азотобактер // ВЕСТНИК ОГУ. - 2013. - № 10(159). – С. 272-274.
7. Пархоменко А.Н., Бекиева Х.Х. Биоиндикация городских почв с использованием азотфиксирующих микроорганизмов // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 01 декабря 2022 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2022. – С. 231-234. – EDN SUDAMG.
8. Практикум по биологии почв: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Г. М. Зеновой. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 120 с.
9. <https://rg.ru/2024/02/14/naskolko-serezno-zagriaznenie-pochvy.html>
10. <https://news.rambler.ru/tech/52266560-naskolko-serezno-zagriaznenie-pochvy/>
11. <https://bigenc.ru/c/zagriaznenie-pochv-77d90d>
12. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/040/52040972.pdf
13. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19317>
14. <https://medbe.ru/materials/bioneorganika/toksichnye-metally-1-gruppy-opasnosti/>
15. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Азотобактер>
16. <https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80>